

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001020075 A**(43) Date of publication of application: **23.01.01**

(51) Int. Cl. **C23C 16/44**  
**H01L 21/205**  
**H01L 21/31**

(21) Application number: **2000137175**  
 (22) Date of filing: **10.05.00**  
 (30) Priority: **10.05.99 FI 99 991078**

(71) Applicant: **ASM MICROCHEMISTRY OY**  
 (72) Inventor: **BONDESTAM NIKLAS**  
**KESÄELÄE JANNE**  
**KETO LEIF**  
**SOININEN PEKKA T**

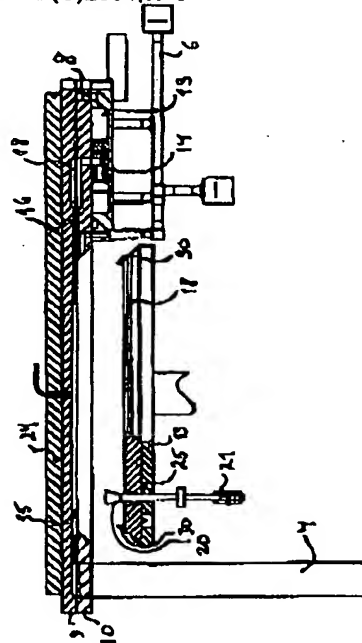
**(54) THIN FILM MANUFACTURING DEVICE**

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

**(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a device to grow a thin film on a substrate by exposing the substrate to the alternative surface reaction of a vapor phase reactant to form a thin film on the substrate through the surface reaction.

**SOLUTION:** This device comprises a vacuum container, and an outlet channel reaction chamber with a reaction space having an outlet channel 4 to discharge a gas reaction product and an excessive reactant and a feed channel 6 to feed the reactant used in a thin film growth process inside. The reaction chamber comprises base parts 9, 10 mounted on an inner wall of the vacuum container in a fixed manner and a movable part 18 adapted to the base parts 9, 10 in a sealable manner. Cleanliness of a substrate loading chamber is improved, and the degree of contamination of the substrate can be reduced. This device is intended for the use in manufacturing the thin film by the ALE method for the structure and a display unit of a semi-conductor layer.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-20075

(P2001-20075A)

(43)公開日 平成13年1月23日(2001.1.23)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\*(参考)

C 2 3 C 16/44

C 2 3 C 16/44

F

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

21/31

21/31

B

審査請求 未請求 請求項の数30 O L 外国語出願 (全 40 頁)

(21)出願番号 特願2000-137175(P2000-137175)

(22)出願日 平成12年5月10日(2000.5.10)

(31)優先権主張番号 9 9 1 0 7 8

(32)優先日 平成11年5月10日(1999.5.10)

(33)優先権主張国 フィンランド (F I)

(71)出願人 500213258

エイエスエム マイクロケミストリ オー  
ワイ

フィンランド国. エフアイエヌ-02631

エスボー, ビー, オー, ボックス 132

(72)発明者 ニクラス ボンデスタム

フィンランド国. エフアイエヌ-00200

ヘルシンキ, ハーハカクヤ 1 ビー 25

(74)代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外12名)

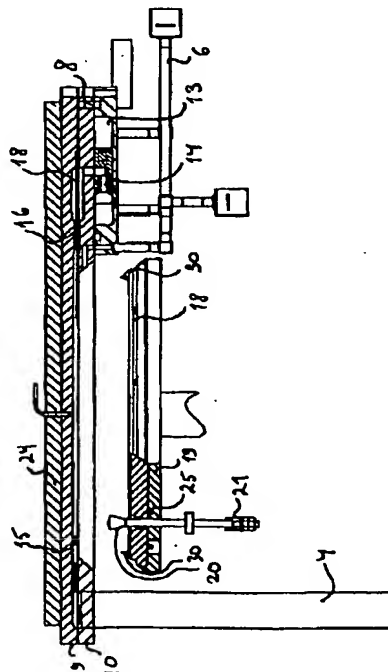
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 薄膜製造装置

(57)【要約】

【課題】 表面反応によって基板上に薄膜を形成する気相反応物の交互の表面反応に基板を曝すことにより、前記基板上に前記薄膜を成長させる装置を提供する。

【解決手段】 本装置は、真空容器(1)と、気体反応生成物および過剰反応物を排出する出口チャンネル(4)だけでなく、前記基板を移送することができ、内部に前記薄膜成長プロセスで使用される反応物を供給する供給チャンネル(6)を有する反応スペース付き出口チャンネル反応チャンバ(2)とを備える。本発明によれば、前記反応チャンバは、前記真空容器(1)の内壁に対して動かないように取り付けられたベース部分(9、10)と、前記反応チャンバの前記ベース部分に対して密閉可能に適合された可動部分(18)とを備える。本発明により、基板ローディングチャンバの清潔性を向上させ、基板の汚染度を低減させることが可能になる。本装置は、半導体層の構造およびディスプレイユニットのためのALIE方法による薄膜の製造における使用に意図される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 表面反応によって基板上に薄膜を形成するために気相反応物の交互表面反応に基板を曝すことによって基板上に薄膜を成長させる装置であって、  
 一前記基板をその中に移送することができる反応スペースを有する反応チャンバ(2)と、  
 一前記反応チャンバに連結された、薄膜成長プロセス中に使用される反応物をその中に供給するための入口チャネル(6)と、  
 一前記反応チャンバに連結された、気体反応生成物および余剰反応物を排出するための出口チャネル(4)とを備え、

一前記反応チャンバ(2)は少なくとも2つの部分(9、10、18)を備え、少なくとも1つの部分(18)は反応チャンバの残りの部分(9、10)に対して可動であり、前記反応チャンバの前記残りの部分(9、10)に対して密閉可能なように適合されることを特徴とする装置。

【請求項2】 前記反応チャンバの各部が基板の処理中ならびにローディング/アンローディング中に第2チャンバ(1)に入れられる請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記第2チャンバが真空容器を有する請求項2に記載の装置。

【請求項4】 前記反応チャンバ(2)が、前記真空容器(1)の内部に対して動かないように取り付けられたベース部分(9、10)と、前記反応チャンバの前記ベース部分に対して密閉可能なように適合された可動部分(18)とを備える請求項3に記載の装置。

【請求項5】 前記可動部分(18)が、基板平面に実質的に平行な方向、あるいは前記平面に垂直な方向のいずれかに移送可能になされた前記の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項6】 前記可動部分(18)が、基板平面に平行な方向ならびに前記平面に垂直な方向に移送可能になされた請求項5に記載の装置。

【請求項7】 前記ベース部分(9、10)が、その縁部を取り囲むラベットの有し、前記可動部分(18)が、前記可動部分(18)を前記固定ベース部分に対して密封するために前記ラベット形状に従う形状の外側縁部を備える請求項5または6に記載の装置。

【請求項8】 前記反応チャンバの前記可動部分(18)が、基板をその上に位置決めすることができる基板支持プラットフォームとして機能する前記の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項9】 前記反応チャンバの前記ベース部分が、基板をその上に位置決めすることができる基板支持プラットフォームとして機能する前記の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項10】 前記反応チャンバベース部分が前記容器の壁に支持されるか、あるいは前記ベース部分が前記

容器の壁の一部を形成するように、前記反応チャンバ(2)が真空容器の内壁に適合された前記の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項11】 支持手段の中心軸が基板の中心点と一致するように前記反応チャンバ(2)が前記容器の壁に支持され、それによって反応チャンバが閉まっているときに熱源の機械的変形が基板の位置決めに影響しないようにする請求項10に記載の装置。

【請求項12】 前記反応チャンバの前記ベース部分と前記可動部分の少なくともいずれか一方がヒータ要素(19)を備える前記請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項13】 前記反応チャンバの前記ベース部分と前記可動部分の両方がヒータ要素を備える請求項10に記載の装置。

【請求項14】 前記反応チャンバの前記ベース部分(9、10)および前記可動部分(18)が、受動的な絶縁、反射シールド、および/または活性熱絶縁要素によって前記真空容器から熱的に絶縁される請求項12または13に記載の装置。

【請求項15】 前記可動部分(18)が基板持ち上げ手段(20)を備え、その直立運動により、前記基板支持プラットフォームから離れた方向における前記基板の上下動と、それに続く移送手段上への前記基板の配置が容易になる前記の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項16】 前記移送手段がロボットアームである請求項15に記載の装置。

【請求項17】 前記基板持ち上げ手段が、前記支持プラットフォームに対して直角に可動であって前記プラットフォーム表面から離れた方向に前記基板を上下動させるように前記基板支持プラットフォーム上に適合されたピン(20)を備える請求項16に記載の装置。

【請求項18】 前記ピン(20)がばね(21)を備えており、前記基板支持プラットフォームに作成された穴の中で動くように適合される請求項17に記載の装置。

【請求項19】 前記ピン(20)の上端部を、前記基板支持プラットフォームに接触するように下方向に先細になった形状とし、前記基板支持表面のシート穴を、前記ピン端部の深さまで同様に下方向に先細になった形状とし、それによって各ピンを前記支持プラットフォームの前記シート穴の中に密閉可能に下げることができるようにした請求項17または18に記載の装置。

【請求項20】 前記可動部分が金属および/またはエラストマーシールによって前記ベース部分に対して密閉される前記の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項21】 前記可動部分が、任意選択で保護ガスで洗い流してもよい真空ポンプアウト溝によって前記ベース部分に対して密閉される前記の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項22】 前記可動部分が平面状の合わせ面によって前記ベース部分に対して密閉される前記の請求項の

いずれかに記載の装置。

【請求項23】 前記反応器がコールドウォール構造を有する前述の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項24】 気体反応生成物および過剰反応物の反応物供給チャネルおよび排出チャネルを、耐圧容器の同じ壁、有利には底部を介して通す前述の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項25】 気体反応生成物および過剰反応物の反応物供給チャネルおよび排出チャネルを、(その中に収容された反応スペースの位置に対して)チャネルの上部および底部の壁を介して耐圧容器中に通す請求項1ないし24のいずれかに記載の装置。

【請求項26】 前記反応チャンバの内部に適合可能な支持構造によって、前記支持構造が、前記基板上の薄膜の蒸着用の少なくとも2つの基板を同時に保持する役割をする前述の請求項のいずれかに記載の装置。

【請求項27】 前記支持構造が、前記基板を支持するためにその上に設けられたプラットホームまたはブラケットを有するラック、あるいはスタック可能なモジュラー要素からなるカセットユニットを備える請求項26に記載の装置。

【請求項28】 前記モジュラー要素が互いに同一である請求項27に記載の装置。

【請求項29】 前記要素の少なくともいくつかは基板を収容するために設計される請求項27または28に記載の装置。

【請求項30】 前記基板収容要素が基板用の支持ブラケットまたはプラットフォームを示す請求項29に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、薄膜製造用の請求項1のプリアンブル(前提部分)に記載の装置に関する。

【0002】以下に開示する装置において、反応スペースに設置された基板は、薄膜の製造に適した少なくとも2つの異なる反応物の交互の表面反応に曝される。この気相反応物は、反応スペース内への反応物自体が供給されてから一度にそれぞれ反復および交互に供給され、基板上の半導体薄膜生成物を生成するために基板の表面と反応させられる。基板に付着しない反応生成物および過剰になる可能性のある反応物は、この反応スペースからガス状態で除去される。

【0003】

【従来の技術】従来、薄膜は、真空蒸着法や、分子ビームエピタキシー(MBE:Molecular Beam Epitaxy)や他の同様の真空蒸着技法、各種化学蒸着法(CVD:Chemical Vapor Deposition)(低圧および有機金属CVDおよびプラズマ強化CVDを含む)、あるいは原子層エ

ピタキシー、略してALE(:Atomic Layer Epitaxy)即ち原子層化学蒸着法として当業者に周知の交互表面反応に基づく前記蒸着方法を使用して成長される。最近の記事や特許では従来「ALCVD」が使用されているが、本明細書では「ALE」という用語が使用される。MBEおよびCVD処理において、他の変数のほかにも、薄膜成長率は、出発物質(starting material)流入の濃度によっても影響される。これらの方法を使用して製造された薄膜の均一な表面の滑らかさを達成するため、出発物質の濃度および反応性は、基板の一方で同等に維持されねばならない。異なった出発物質が、CVD方法における場合のように、基板表面に到達する前に互いに混合することが許容される場合、反応物質間の相互反応の可能性は、常に差し迫った状態にある。この場合、気体反応物の供給ライン(infeed line)において既に微粒子が形成されている危険が発生する。このような微粒子は、一般に蒸着された薄膜の質を低下させるという悪影響を及ぼす。しかし、MBEおよびCVD反応器内の早期反応物の発生は、例えば、基板のみの場合よりも早期でない反応物を加熱することによって避けることができる。加熱処理に加えて、プラズマあるいは他の同様の活性化手段の支援により所望の反応を開始することができる。

【0004】MBEおよびCVD処理において、薄膜の成長率は、基板上に衝突する出発物質の流入率を制御することによって主に調整される。一方、ALE処理における薄膜成長率は、出発物質の流入の濃度または他の特質によるよりも、基板表面特性によって制御される。ALE処理において、唯一の必要条件は、出発物質が、基板上の膜成長に十分な濃度で供給されることである。

【0005】ALE方法については、例えば、米国特許第4,058,430号および第4,389,973号だけでなくフィンランド国特許第52,359号および第57,975号に記載されている。また、フィンランド国特許第97,730号、第97,731号、および第100,409号には、その方法を実施するのに適したいくつかの装置構成が開示されている。薄膜蒸着装置については、刊行物「Material Science Report(材料科学報告)4(7)、1989年261ページおよびTyhjiotekniikka(英語版タイトル:Vacuum Techniques)、ISBN951-794-422-5、253ページから261ページに更に記載されている。

【0006】ALE蒸着方法において、原子または分子が、基板上を覆いつくすため、基板表面上で連続的に衝突し、完全に飽和した分子層が基板上に形成される。フィンランド国特許明細書第57,975号から周知の従来技術によれば、飽和ステップに続いて、保護気体パルスが、過剰な出発物質と、基板からの気体反応生成物とを一掃する拡散障壁(diffusion barri

er)を形成する。異なった出発物質の連続パルスと、および連続した出発物質パルスを互いに分離させる分散バリアを形成する保護気体パルスと、により、異なった物質の表面化学特性によって制御された比率で薄膜の成長が達成される。この処理の機能に対しては、これらは、移動状態を維持した気体または物質であるかどうかは関係なく、連続した反応ステップの異なった出発物質が、互いに分離され、交互に基板上で衝突するように構成されることは避けられない。

【0007】殆どの真空蒸発装置は、いわゆる「シングルショット」原理に則って動作する。これにより、蒸発した原子または分子は、1度だけ基板上で衝突する可能性がある。基板表面との反応が生じない場合、原子および分子は、その内部での凝縮を経て、装置の壁または真空ポンプに衝突するようにリバウンドまたは再蒸着する。ホットウォール反応器において、この反応器壁または基板上で衝突する原子または分子は、再蒸着するようになるので、基板表面での衝突が繰り返し発生する。ALE反応器に適用されると、この「マルチショット」原理は、物質の消費の効率向上を含む数々の利点を提供することができる。

【0008】実際、「マルチショット」タイプのALE反応器は、少なくともそのいくつかがい互いに同じ隣接した状態または重なった状態で重ねられた複数のモジュール要素からなる反応器チャンバ構造を備え、例えば、ミリングによって、入口および出口チャネルの役割をする適切な切り欠き部および開口部と共に製作された反応チャンバを有する。一方、基板は、反応スペースとして機能する真空容器の内側に露出した形で設置することができる。両方の構成において、反応器は、基板ローディング/アンローディングステップに従って加圧しなければならない。

【0009】薄膜構造の製造において、従来、反応器は、他の処理パラメータだけでなく処理温度、動作圧力に関して安定化した一定の処理条件下で作動されるのが好ましい。この目的は、基板上の環境からの外部粒子および化学的な不純物の侵入を防ぎ、時間のかかるステップであると同時に、処理の信頼性を劣化させる可能性のある反応器の熱サイクルを避けることである。実際、これらの問題は、別々の基板ローディング/移送チャンバを使用することによって克服される。この基板ローディングチャンバは、反応器と連通し、一定の真空中に維持される。基板のローディングおよびアンローディングステップは、反応器およびローディングチャンバの両方が真空状態になるように実行され、その後互いにこの2つを分離させる(ゲートバルブなど)のバルブが開かれ、ローディングチャンバ内に構成されるロボットアームにより、処理された基板(処理済み基板)を反応チャンバから除去し、新しい基板をローディングする。その後、バルブが閉じられ、基板および反応器が標準処理値を達

成した後、処理が開始される。一方、処理された基板は、別の制御可能なバルブを介して、ローディングチャンバから真空化されたローディングロックに移送され、その後、ローディングロックバルブが閉じられる。次に、ローディングロックは加圧され、その後、基板は、開いた第3バルブを介して装置から部屋のスペース内へ取り出すことができる。次に処理される基板は、それぞれ反応器内にローディングチャンバを介して移送することができる。

【0010】従来の構成において、基板は、ヒータ上に設置され、ロボットアームが反応器内の所望のポイントに基板を動かすことができ、その後、基板は、通常、ロボットアームが撤収する間、3つのピンの助けを介して、真直ぐ上方に持ち上げられる。次に、基板は、サセプタ(加熱台)の表面レベルより下に前記ピンを下げることによって加熱可能なサセプタプラットフォーム上に下げられる。これにより基板はサセプタと良好な熱接触を続けることができる。

【0011】前記の種類の反応器において、気体の流れは、基板の上方に配置された「シャワーヘッド」を介して反応スペースに流入し、加熱基板上に気体を分配するようにし、それによって、所望の表面反応が発生し、基板表面上に所望の種類の薄膜層を形成することができる。しかし、ALCVD反応器内で使用される場合、この種の供給技術には、各反応物供給パルスの開始および終了時に、気体濃度の均質化および前回の気体パルスの流出を行えるようにするため、反応物パルス長の期間に通常等しい期間が不可欠となる。実際、これにより、反応物の蒸気が互いに混ざり合い、それにより、薄膜成長のALCVDモードは、実際のCVD処理に入る。前述同様、この処理は、遅いスループット(処理能力)、低い材料利用効率および/または大きな厚さ変化によって妨害される。

【0012】更にまた、真空容器の壁は、それぞれ出発物質の濃縮層で被覆され、その結果、特に、固体状態のソースの使用に関連して、上述した結果と同一となる。

【0013】バッチモードでALE処理を作動する理由は、ALE方法が、他の多くの種類の薄膜成長技法に比べて比較的遅いためである。しかし、バッチ処理は、基板当たりの合計成長時間を競争力のあるレベルに持っていくことが可能である。同じ目的のため、基板サイズは、大型化される。

【0014】ALE方法は、複合層構造を蒸着するために利用することができ、それにより、1回の作動で、複数の異なった膜構造を単一のバッチ内で作成するために用いることができる。このため、製造されたユニット毎の処理時間を減らすことができる。

【0015】バッチ処理において必要とされる大型のスタックアセンブリ群は、通常、一定の周辺スペースにおいて一緒に置かれ、その後、これらのアセンブリは、開

いた反応器の内部への小型ユニットとして移送しなければならない。通常、反応器チャンバ構造のベークアウト加熱は数時間（1時間ないし4時間）かかり、その後、処理ステップが続く（300 nm  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の厚さまで約2時間ないし4時間）、反応器構成のサイズによっては冷却処理に数十時間かかる。更にまた、反応器チャンバの分解および再組み立てに一定の時間を必要としなければならない。

【0016】別の処理ステップによって必要とされる作業時間に対する処理時間の割合が、不都合に（小さく）なればなる程、成長する薄膜の厚さはより薄くなり（例えば、1 nm ないし 50 nm の範囲）、それにより、実際の蒸着ステップの時間は、僅か1分ないし数分になる場合がある。その結果、実際の処理時間に関する合計処理時間の圧倒的な部分は、反応器チャンバ構造、反応器の加圧、反応器チャンバの分解/再組み立て、システムを真空状態にして加熱するために使用される。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】本発明の一の目的は、従来技術の欠点を克服し、ALE方法を使用した均一な質の薄膜を商用規模まで成長させる全く新規の装置を提供することである。

【0018】本発明の特別な目的は、反応器および反応器チャンバを形成する構造が安定化した処理条件下に常に維持されるような環境下で非常に薄い膜を製造するのに適した装置構成を提供し、それにより、加熱、加圧、真空ポンプサイクルを基板だけに対して実行することである。本発明の更なる目的は、従来のALE反応器の利点、すなわち最小反応量、デッドボリュームなしのパルスの円滑な通過のための空気力学設計を使用した単一ウエハ処理を可能にする反応器設計を提供することである。

【0019】本発明の目的は、反応器チャンバ構造の利点およびコールドウォールALE反応器の利点が、基板ローディング/アンローディングステップのために反応器の内部で開閉可能に反応器チャンバ構成を設計することを通じて、内部ローディングチャンバを備える反応器の利点と組み合わせられるという新規な概念の実現によって達成される。反応器のボリュームは小さいため、ウエハ処理用のスペースには充分でない。したがって、反応器チャンバは、ウエハ移送のために、バルブによってではなく、反応器の部品を分解することによって開放される必要がある。反応器チャンバが外気に曝されるのを防ぐために、第2のチャンバが、反応器チャンバの周囲に設置される。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明による反応器チャンバ構成は、反応器チャンバの残部に対して可動な少なくとも1つの部分であって、基板が反応器チャンバ内外でローディング/アンローディングできるような反応器

チャンバの残部に対して密閉可能なように適合される構成を備える。以下に詳述される一実施例に従って、反応器チャンバは、少なくとも2つの基本部分、即ち、反応器構造の固定基本部分と、前記構造の可動部分とを備え、後者は、前記基本部分に対して密閉可能とするように適合され、それによって前記基本部分と、前記可動部分との間に残っている反応スペースは、そのようなボリュームから必要とされる特性形状を達成することとを特徴とする。反応器チャンバ構造の基本部分と、可動部分とによって形成される1つの組み合わせ要素は、基板支持プラットフォームまたはベース部分として機能し、その上で、基板は、ロボットアームまたは前記アームの所定部分の動きによって位置決めすることができる。しかし、基本的な考えは、互いに関して、例えば、一方が水平方向に、他方が垂直方向に、或いは両方が垂直方向に、可動な反応器チャンバ部分を有することである。

【0021】より具体的には、本発明による装置は、請求項1の特徴部分で述べられるものによって主として特徴付けられる。

【0022】本発明は、重要な利点を提供する。したがって、本発明による構成は、反応器の中間スペースの汚染に対抗し、それによって、ローディングチャンバの清潔さを向上させ、基板の汚染リスクが低減され、ベース圧力が、より速い速度でポンプダウンされることができる。本発明による装置によって容易になった単一基盤の商用処理は、各基板が必要に応じて適用されたやり方で処理することができる更なる利点を提供する。その上、ALE処理は、その他の製造ユニットが連続モードで動作される場合、バッチモードで動作する必要はない。

【0023】本発明による装置は、ALE方法によってディスプレイユニットの薄膜構造だけでなく各種半導体の構造を含む異なった種類の薄膜の製造にも適用可能である。

【0024】以下、本発明は、発明の詳細な説明によって例示される。本発明の好ましい実施例は、以下の添付図面において説明される。

【0025】

【発明の実施の形態】本発明との関連において、「反応物」という用語は、基板表面と反応することができる蒸発可能な材料を示す。この反応物は、固体でも、液体でも、気体でもよい。ALE方法において、2つの異なる基に属する反応物が、従来用いられる。「金属反応物」という用語は、金属化合物または重要な金属の反応物として使用される。適切な金属反応物は、例えば、塩化物、臭化物および複合化合物などの冶金化合物のハロゲン化物となる。金属反応物の例としては、 $\text{Zn}$ 、 $\text{ZnCl}_2$ 、 $\text{TiCl}_4$ 、 $\text{Ca(thd)}_2$ 、 $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$  および  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  等を用いてもよい。「非金属」という用語は、金属化合物に反応することが可能な化合物および要素を示す。後者の基は、通常、水、硫黄、硫化水素

およびアンモニアによって表わされる。

【0026】本明細書において、「保護気体」という用語は、反応スペース内に入れられ、反応物、およびそれに対応する基板に関する不要反応を防ぐことができる気体を説明するのに使用される。このような反応としては、例えば、起こり得る不純物との反応物および基板の反応が挙げられる。また、この保護気体は、例えば、流入ラインにおける異なった反応基の物質同士の反応を防ぐ役割をする。本発明による方法において、保護ガスは、反応物の気相パルスのキャリアガスとしても有利に使用される。異なった反応基の反応物が、別々の入口マニホールドを介して反応スペース内に導入される好ましい実施例に従い、気相反応パルスは、1つの流入チャネルから導入される一方、保護気体がもう1つの流入チャネルから導入されるので、導入された反応物がもう1つの反応基を供給する流入チャネルに侵入するのを防いでいる。この方法での使用に適した保護気体の内、窒素ガスおよび貴ガス (noble gas)、例えばアルゴンなどの不活性ガスを参照されたい。この保護気体は、不要な反応 (例えば、酸化反応) が基板表面上で発生することを防ぐ役割をする水素ガスなど固有の反応気体であってもよい。

【0027】本発明によれば、「反応スペース」という用語は、基板が配置される反応チャンバの部分と、気相反応物が、反応チャンバと連通する気体流入/流出チャネルだけでなく薄膜を成長させるために基板と反応させることを許容された部分の両方を含み、前記チャネルは、(流入チャネル経由で) 反応チャンバ内に反応物を導入したり、(流出チャネルを介して) 反応チャンバから薄膜成長プロセスおよび過剰反応物の気体反応生成物を除去 (排出) する役割をすることを特徴とする。本実施例の構成によると、流入および流出チャネルそれぞれは、1からそれ以上の数に変更し得る。これらのチャネルは、基板の反対側の端部に配置してもよいので、これによって、各反応基に対応する流出オリフィスが、その他の基の流入マニホールドの端部に配置され、そこから、気体分離プレートによって有利に分離される。これらの気体は、反対方向から交互に基板上に供給してもよい。この方法で、基板の流入端部における実際の強い膜成長を補うことが可能である。また、このような構成の流出チャネルからの排気吸入は、交互に発生しなければならない。

【0028】気体供給入口開口部は、曲線ライン沿い、例えば、処理される円形基板の半径より幾分大きい曲率半径を有するライン沿いに配置することができる。この配置によって、基板に長い間均一な気体を向けることが可能になる。

【0029】本明細書では、「基板表面」という用語は、反応チャンバ内に流れる気相反応物が主に衝突する基板の上部表面を示すのに使用される。実際、前記基板

は、薄膜成長プロセスの第1周期 (サイクル) では、例えば、ガラスまたはシリコンウエハなどの基板の表面によって構成され、第2周期では、この基板表面は、第1周期で形成された層であり、反応物同士の反応によって蒸着し基板に付着した固体状態の反応生成物を含む層によって構成される。

【0030】本発明によれば、反応器チャンバは、真空容器など耐空気および耐気体密閉された状態で結合される。このような反応チャンバは、例えば、少なくとも2つの部分からなり、その内の少なくとも1つは、反応チャンバの残部に対して可動であると共に、反応チャンバの残部に対して密閉可能なように適合され、基板を反応チャンバ内外でローディングおよびアンローディングできる。この部分は、互いに (1つまたは両方に) 対して可動であり、1つは、水平方向 (基板の横平面に垂直な方向) に、もう1つは、垂直方向 (横方向) に、あるいは両方が垂直方向 (横方向) に可動である。反応チャンバの部分は、第2チャンバ内に封入され、基板の処理中ならびにローディング時およびアンローディング時の両方において真空容器を備えるのが好ましい。このようにして、基板の二重封入が構成される。

【0031】好ましい一実施例によれば、反応チャンバは、2つの部分を備え、その内の1つは、前記真空容器に対して動かないように取り付けられる一方、もう一方は、可動な設計とする。可動部分の移送は、横方向、即ち、基板平面に平行な方向、あるいは、固定ベース部分の平面 (したがって、基板の平面に) 垂直な方向に発生させることができる。この移送動作は、横方向および垂直方向の両方に発生してもよい。この基板は、可動部分または固定ベース部分の上に取り付け可能とし、場合によっては両方に部分でも取り付け可能とするように適合させることができる。

【0032】可動部分が、固定ベース部分に向かって直角に移送可能なような設計の一実施例において、前記固定部分は、その縁部を取り囲むラベット (rabbit, 切込み) を備える一方、可動部分は、固定ベース部分に対して密閉を行うためにラベット形状に従う形状の外側縁部を備える。

【0033】本発明による構成は、いくつかの特別に有利な実施例の形態で実施することができる。したがって、本発明の第1の好ましい実施例において、反応器チャンバは、コールドウォール真空反応器の内部にフィンランド国特許第97, 730号に開示されたやり方で配置される。本明細書において、「コールドウォール」反応器という言葉は、反応スペース、および真空容器内部に適合された、起こり得る反応物ソースがそれぞれ別々に加熱される装置を説明するために使用される。この加熱システムは、第1の温度均等化ジャケットまたはプレートを備えた反応器 (またはソース) に対面する側部と、別の温度均等化ジャケットまたはプレートを持つ真



空容器に対面するもう1つの側部とを有するカバー内に装置の各ユニットを取り囲むことによって実施することができる。したがって、前記第1および前記第2のジャケットの間に、前記温度均等化ジャケットの表面を加熱するのに適切な加熱手段が適用される。このような加熱手段は、チューブ状の抵抗要素または平面状ヒータを備えてもよい。反応スペースおよび材料ソースを取り囲むカバーのエンベロープ（外層）は、ステンレス鋼材、チタンまたはアルミニウム、または適切な金属合金または純金属などの金属から最も有利に作成される。反応スペースと、反応物ソースとの間に適合され、互いに熱的に絶縁した状態に維持すると同時に真空容器からも絶縁した状態に維持するようにして、真空容器の内部温度は、ソースおよび反応スペースの温度とは別個に制御することができる。結果的に、真空容器温度は、反応スペースの温度よりも実質上低く維持することができる。例示実施例についての以下の記載から明かなように、真空容器の内部へ反応物ソースを適合させる必要なしでコールドウォール反応器を構成することもできる。

【0034】行われる反応の種類によっては、コールドウォール真空容器は、別の種類の耐気体容器（ガス漏れしない容器）に置換してもよい。これは、反応温度が摂氏約200度（200℃）を下回る状況の場合には特に言える。本発明の明細書において、ここで議論する構造は、通常、「耐圧容器」または「真空容器」という名前と呼ばれ、前記用語は、いわゆる「真空容器群」も含む。薄膜の成長が、大気圧または僅かな過剰圧の下で行うことができる一方、部分真空での動作により、とりわけ、反応物および排出（バージ）ガスの純度に対して一定の利点を有する。

【0035】最も有利なのは、反応器チャンバのベース部分が、真空容器の壁に支持されて、支持手段の中心軸が基板の中心と一致するようにしている点である。この配置により、反応器チャンバが閉まっているときに熱源の機械的変形が、基板の非常に重要な位置決めに悪影響を及ぼすのを防いでいる。この熱的に誘因された変形の影響を最小限にするためには、耐圧容器の（単一および）同じ壁を介して反応物供給チャネルおよび反応生成物排出チャネルを通すことにもまた有利である。可動部分が、輸送ロッドによって支持されて移送された縦方向に可動なプレートを用意するとき、前記ロッドは、有利には、気体チャネルによって貫通されるのと同じ壁を通じて真空容器の外側に延長されている。この輸送ロッドは、手動またはアクチュエータ駆動による手段によって可動されることができる。

【0036】位置決め配置に関する熱膨張の影響は、例えば、フレキシブルラインの支援によって解消することができる。

【0037】更にまた、ベース部分は、真空容器壁の一部を構成するようになすことができる。

【0038】本発明のもう1つの好ましい実施例によれば、反応器の固定ベース部分および/またはその可動部分は、加熱手段を備え、それによって、その絶縁は、必要に応じて、例えば、反射シールドまたは活性熱絶縁要素によって達成することができる。このような加熱手段の詳細に関しては、引用したフィンランド国特許第97,730号を参照されたい。しかし、ここでは、一般的に「活性熱絶縁要素」と呼ばれる手段は、通常、冷却手段と、反射シールドとを有すると言及するのが適切である。このため、2つの加熱スポット間において、前記加熱スポットの低温側よりも低い温度に冷却された区域を確定することが可能である。通常、熱放射反射が加熱手段周辺を取り囲み、それによって、エンベロープの数は少なくとも1つになるだけでなく、より多数のエンベロープが同心的に取り囲む方式で使用してもよい。このソースは、冷却手段によって更に取り囲まれるので、上述した冷却区域ができる。これは、ソースが、真空容器の内側に適合される場合に必要である。この冷却システムは、例えば、水の循環に基づいてもよい。真空容器の壁に、同様の冷却システムを構成してもよい。

【0039】可動部分の密閉（即ち、反応チャンバ構造の密閉）は、例えば、その処理の制限内および温度内で可能であればエラストマーシールによって達成することができる。一方、この密閉処理は、例えば、真空ポンプアウト溝密閉構成を使用してなされねばならない。真空ポンプアウト溝の密閉効果は、溝に保護気体を供給することにより増大する。この種の真空ポンプアウト溝による密閉は、例えば、プレート縁部に近接した容器の平面構造要素の表面上で、このプレートの縁部輪郭に近接したループ通路としての形状を有する溝を加工することによって実施することができ、これによりいかなる漏れも遠ざけて吸入することが可能になる。この真空ポンプアウト溝は、真空下に維持される排出チャネルに連結される。真空ポンプアウト溝は、反応器の外部から反応スペース内への汚染の接近を防止したり、流入反応物が反応スペースの外側に逃げるのを防ぐのに役立つ。真空ポンプアウト溝内を通過する密閉フローは、気体の流れに対する最も厳しい圧縮が真空吸入チャネルに近接した基板の終端付近に配置された場合に、最大に有効な機能を提供する。

【0040】有利には、反応チャンバの反対側に噛み合う部分の縁部は、プレートの平面に対して直角に切断されたノッチを備え、プレートを通過して延伸するので、反応チャンバ構造が完全に閉まっているときでも反応スペースの気体チャネルを形成する。

【0041】この反応チャンバは、複数の基板を収容するような形状にすることができる。したがって、この反応チャンバは、支持構造を備えてもよく、支持構造上では、両方の基板上に同時に薄膜構造を蒸着させるために少なくとも2つの基板を設置することができる。一般的



に、このような支持構造は、その上に基板を支持するために設けられたプラットホームまたはブラケットを有するラック、あるいは、積み重ね可能で、好ましくは相互に同じモジュラー要素からなるカセットユニットを備えてもよく、それにより、積み重ね可能な要素の少なくとも一部の内部スペースが形成され、それらのスペースが、基板を収容することができる。好ましくは、これらの要素は、基板用に設けられた支持ブラケットまたはプラットホームとなる。この支持構造は、反応器の固定ベース部分、あるいは、可動なベースプレート上に設置してもよい。

【0042】ラックは、開放または閉塞された構造のいずれかを有する。開放ラックにおいて、側部は、供給チャネルから基板、逆に基板から排出チャネルへの反応物ガスが自由に接近できるように開放された状態になっている。閉塞ラックにおいて、側部は、部分的に閉塞され、それにより、基板に近接したラックの片側に設けられた供給開口部を介して反応物ガスの流れが発生する一方、もう片側は、排出開口部をそれぞれ備える。このようなラック構成は、基板を支持する役割をする棚プラットホームまたはブラケットで構成される基板ホルダを備える。このようなラック構成は棚プラットホームまたは基板を支持する役目をするブラケットからなる基板ホルダにより与えられる。後者の構成により、基板上の両側の蒸着も容易になる。基板支持が、棚プラットホームによって行われる場合、これらのプラットホームは、反応温度を安定化させる役割をする加熱手段を備えることができる。

【0043】棚構成を有する代わりに、反応チャンバは、ベースプレート上に積み重ねられた本質的に同様の（同じ）モジュラー要素で構成してもよく、それにより、スタック要素の適切な設計により、反応スペースを通過して流れる気体の流れを制限する機能を有する狭い通路が形成されるような凹みおよび溝を有する。この要素は、基板支持部として機能する表面と共に作成された凹みを有する。このような積み重ね可能なカセットパック構造の構成部品は、ALE成長プロセス中に使用された反応物に抵抗性のある物質から製造される。この点において、有利な物質としては、各種セラミックだけでなく、ガラスおよび珪化物ベースの組成物も挙げられる。各種金属合金だけでなく、同じ材料のグループが、ラックの製造にも適している。

【0044】必要な場合、処理装置の内部表面は、その上に、例えば、塩化アルミニウムおよび水など適切な出発物質からALCVDを使用して形成することができる $Al_2O_3$ 層を蒸着させることによって不動態化してもよい。

【0045】複数の基板処理を適用する場合、反応物気体の入口および出口ライン（または供給ライン/ポンプライン）が、有利には、反応チャンバに永久的に連結さ

れる。更に、基板ラックまたはカセット構造は、有利には、反応チャンバ内に構成され、気体排出チャネルの端部は、できるだけ密閉した状態でラックまたはカセットの気体排出開口部に接触する。また、各基板は、反応スペース内の直立位置に構成してもよい。

【0046】本発明の第3の好ましい実施例によれば、可動部分は、基板持ち上げ手段を備え、その直立方向の動きにより、ロボットアーム上に基板の設置を容易に行えるようにする。このような基板持ち上げ手段は、例えば、基板支持表面上に作成された穴の中に挿入されたピンを備えることができ、支持表面に関して直角に釘を移動させるようにする。このピンは、ばねを備えていてもよく、それにより、これらのピンは、スタックされたパックが開かれたときに基板支持表面から離れて上方に自動的に基板を持ち上げることができる。このピンの上端部は、下向きに先細になった形状となる。また、支持表面の穴は、同様に、下向きに先細になった形状となっているため、基板が反応スペース内に設置されるとき、下向きの円錐形のピンが、シート穴に対して自動的に密封する原因となる。この構成は、反応物が、反応チャンバ内にとめどなく漏れるのを防ぐために最大限の耐性を得る役割を果たす。一方、反応チャンバ内の反応物は、正しくない時間で反応スペースに再び入る可能性があり、それにより、後続の反応物パルスの動作への妨害が発生する。その上、この反応物は、錆の元となる場合が多く、ローディングチャンバ側への接近が、処理に損害を与える場合がある。

【0047】密閉上の問題を克服するため、1つの出発物質基が、その上部側を介して反応スペース内に導入することができ、もう1つの物質基は、その底部側を介して導入することができる。ここで注意しなければならないことは、可動部分の移動が、主要な平面内、即ち、横方法で発生するように構成してもよいことである。ここでは、（カバーなど）可動部分は、ロボットアームの押し動作によって移送される。

【0048】有利には、気体入口および出口ラインは、中間スペースに対して密閉される。通常、ローディング/移送チャンバは、約 $10^{-6}$ バルから10ミリバルまでの真空状態にされ、それぞれ、ALE成長プロセスが、約0.1ミリバルから30ミリバルまでの気圧で行われる。したがって、ALE装置は、ローディング/アンローディングステップに引用された圧力の低い方に汲み上げねばならない。この段階を迅速化するため、反応器は、有利には、この目的のために特別に設計された別のポンプを備える。このようなポンプは、例えば、ターボ分子ポンプまたは各種クライオポンプ（cryo pump）である可能性もある。

【0049】薄膜が、基板の表面以外の表面で誤って成長する可能性がある場合、反応器チャンバの温度の安定化は、反応器表面上で成長した膜のフレーキング（剥

離) からリリース (放出) される汚染粒子の形成を低減させる一因となる。従来技術の実例において、フレーキングの発生主原因は、蓄積された薄膜および反応器チャンバ壁の物質の熱膨張係数の違いに起因する。

【0050】本発明の特性および利点は、添付された図面を参照した以下の詳細な説明からも理解される。

【0051】図1に、本発明による装置の上面図を示す。図中、真空容器は、符号1によって示される。反応物入口ラインは、符号6によって示される。真空容器の内部には、反応チャンバ2が適合され、その固定ベース部分 (後述) が、3つの支持部の上にある真空容器内に取り付けられる。基板の円形輪郭は、破線において概略図示される。図中の別の破線は、基板の中心を經由して通過する支持システムの中心軸を概略図示している。本明細書で先に記載した通り、この種の構成は、カセットバックを閉じる間の基板の位置に関する熱膨張移動の影響を防止することが可能になり、それによって、バックの可動部分は、常時、固定部分と正確に噛み合うので、反応スペースの耐圧 (気密) を保証する。

【0052】図2および3に、本装置のより詳細な構造を示す。ここに図示される通り、真空容器1内に適合された反応チャンバ2は、積み重ねられた平面状の要素3のバックで形成された反応スペースを備える。平面状の要素3のセットは、トッププレート9と、ベースプレート10と、加熱プレート24と、を含んでいる (図3参照)。薄膜は、ALE処理を使用して基板上に反応チャンバ内で成長される。符号4は、真空ポンプの吸入口に導くラインへの反応チャンバの連結を示すが、前記ラインは、シール5によって反応チャンバの外部からの漏れに対して密閉されている。それぞれ、符号6は、気相反応物の入口ラインを示し、前記ラインは、反応物入口供給プレート7に連結されている。

【0053】図3に、起こりうる漏れを避ける吸入用のループ化真空ポンプアウト溝8を形成する技法を示す。真空ポンプアウト溝は、真空ポンプの吸入口に導くライン4に連結される。真空ポンプアウト溝は、反応器の外部から反応スペース内への汚染の接近と、それとは逆に、反応スペースの外側に反応物が逃げるのを防ぐ役割をする。したがって、反応器の一種の耐気体シールとして機能する。

【0054】前記の通り、平面状の要素を互いに対して密閉する処理は、エラストマーシールを使用して実施することができる。しかし、平面状の要素同士の密閉用シールとして機能する直線平面状の表面を使用して十分な密閉度を得ることも可能である。

【0055】反応器スペースの上半分は、反応器チャンバトッププレート9を形成し、それぞれ、下半分は、ベースプレート10からなる。このベースプレートは、支持部11の上に取り付けられる。トッププレートと、ベースプレートとの間には、反応物の流れを互いに分離さ

せる役割をするディバイダプレート12が適合する。ベースプレートの底部側には、反応物流入分配プレート7が取り付けられ、この場合、気体の流れは、反応スペースに対して横方向に直線前方部に分割される。反応物供給および排出ライン6、4および反応チャンバ2は、縦軸沿いに狭い断面を有し、「平坦化された」気体フローパターンを達成し、反応スペースのサイズを最小限にするために、細長い形状になっている。

【0056】図3に図示される実施例において、異なる反応物質基の気相反応物パルスが、供給ライン6に交互に供給される。供給前に、反応物の濃度は、供給ライン6またはそれより前のラインにおける保護気体の流れによって略均一化される。供給ラインにおいて、平面状の平坦化されたフローパターンを有する各気相反応物パルスは、直線状の鈍い前方部に介して伝播する。このフローパターンの幅は、基板のプラットホームの幅と等しく、例えば、5 cmないし50 cmの範囲とすることができる。

【0057】この供給マニホールドにおいて伝播する流れは、供給チャンネル13の伝導性 (コンダクタンス) が、毛細状のチャンネル14を介した伝導性よりも遥かに大きくなるようにその圧縮 (constriction) を介して反応スペースの寸法を決定することによって均一な前方部に供給される。反応チャンバ2の内部では、気体の流れを圧縮するように機能する狭い吸入スリット15の効果によって流れが均一化される。実際の実験 (希薄投量下での実験) において、気体フロー前方部は、非常に直線的であることが判明した。気体フロー前方部の横方向に関する均一な吸入は、気体分子が、最低圧力 (最高の吸入力で発生) の方向に移動する傾向があるため一番重要で、これによって、気体フロー前方部の直線状の輪郭は、不均一な吸入に曝された場合、歪みが生じるようになる。一方、横方向に均一な吸入により、何らかの理由によって歪んだ気体フロー前方部を直線的にすることができる。

【0058】図3の実施例において、気体の流れは、基板以降のポイント15だけでなく基板より前のポイント16の両者に配置される圧縮機構を介して通過させる。この構成により、基板に対して極めて均一な流れを保証する。

【0059】反応チャンバ支持手段の中心軸は、基板17の中心軸と一致するように適合される。この支持脚部11は、調整用ねじ29を備え、それによって、反応器チャンバの位置を真空容器に対して設定したり、固定したりすることができる。この構成は、基板の中心を動かさないように維持し、前記中心から半径方向に外側に熱膨張変形を向けることを目的とする。この基板位置は、ロボットハンドリング手段の使用を許容するため、動かないように維持するのが重要であり、それにより、ロボットアームは、支持部の隙間に正確に基板を設置すること

ができる。

【0060】図3に、反応チャンバ2が、その統合加熱プレート19と共に可動ベースプレート18を密閉可能に収容することができる装置の実施例を示す。この実施例において、反応チャンバの可動なベースは、基板ホルダとして機能する。この可動部分は、反応チャンバ縁部に対して、可動部分の縁部を密閉する傾斜縁の外形を有する。この傾斜縁部は、窒素排出用溝、密閉用溝または真空ポンプアウト溝として使用することができる溝または多数の溝を備える。ベースプレート18の縁部は、ベースプレート18上の基板の位置決めを案内する円錐形のピン30を有してもよい。

【0061】基板持ち上げ手段20の要素は、円錐形状によって可動なベースプレートに対して密閉されるので、この反応スペースは、反応チャンバの外部から隔離できるようになる。処理実行時、円錐形のピンは、ばね21によってシート表面と同じ高さで撤収される。この円錐形のピン30は、機械的に移送することができる支持プレート22に対して固定されるか、輸送ロッド23を

介してアクチュエータ手段によって固定される。

【0062】入口反応物気体パルスの均一な分散を提供するため、反応時の回転にベースプレート18を適合させることが可能である。これは、実際には、基板持ち上げ手段20が回転可能であることを意味する。

【0063】加熱プレート19および24の内部は、様々な異なったヒータ要素25を備えることができる。この加熱プレート19および24は、反応チャンバのプレートに対して押されるので、効率的な熱変換を保証する。この反応チャンバの加熱は、積み重ねられた反応スペースパックについて、反射シールド26、27、28を配置することで増大される。

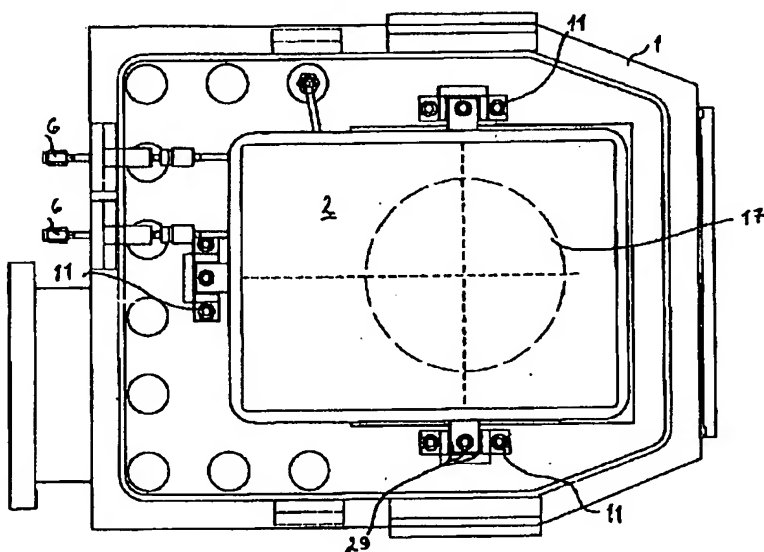
#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による反応器の実施例の簡潔な構成の組立図の上面図である。

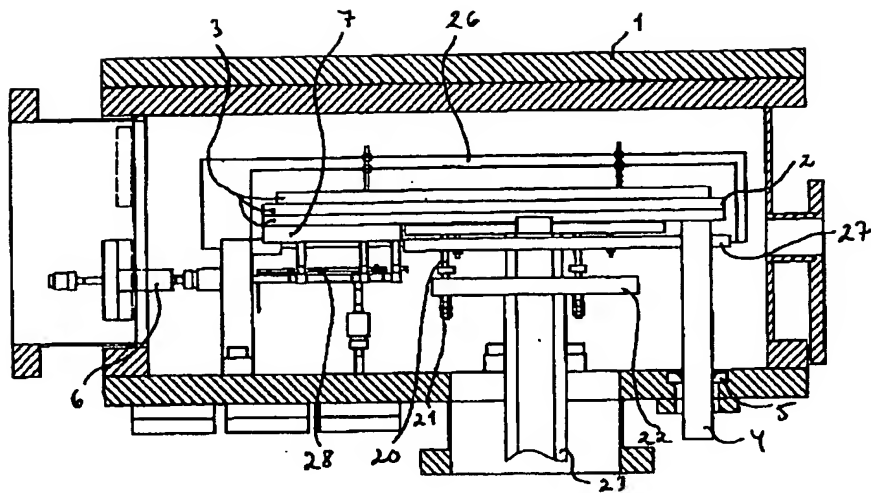
【図2】反応器の実施例の簡潔な構成の側面図である。

【図3】反応器の実施例の簡潔な構成の縦方向の側部断面図である。

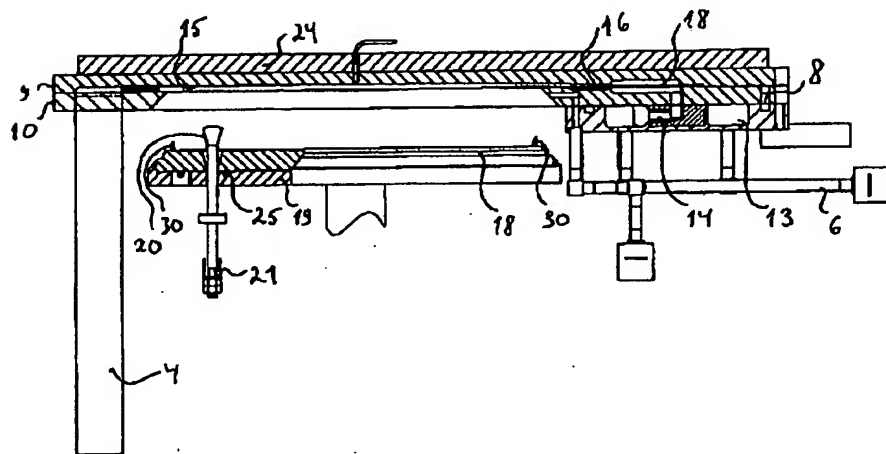
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 ヤンヌ ケセレ  
フィンランド国、エフアイエヌ-02280  
エスボー、エースティンラークソ 16 ビ  
ー 20

(72)発明者 レイフ ケト  
フィンランド国、エフアイエヌ-02700  
カウニアイン、ウルヘイルティエ 11  
オー 58

(72)発明者 ベッカ ティー、ソイニネン  
フィンランド国、エフアイエヌ-00100  
ヘルシンキ、イルマリントウ 10 ビー  
28

【 外国語明細書 】

1. Title of Invention

Apparatus for fabrication of thin films

2. Claims

1. Apparatus for growing thin films onto a substrate by exposing the substrate to alternate surface reactions of vapor-phase reactants for forming a thin film onto the substrate by means of said surface reactions, the apparatus comprising

- a reaction chamber (2) into whose reaction space said substrate can be transferred,  
inlet channels (6) connected to said reaction chamber for feeding therein said reactants used in said thin film growth process, and
- outlet channels (4) connected to said reaction chamber for discharging gaseous reaction products and excess reactants,

characterized in that

- said reaction chamber (2) comprises at least two parts (9, 10, 18), at least one part (18) being movable with respect to the remaining part(s) (9, 10) of the reaction chamber and adapted to be sealably closable against said remaining part (9, 10) of said reaction chamber.

2. Apparatus according to claim 1, wherein the parts of the reaction chamber are contained in a second chamber (1), both during processing and during loading/unloading of a substrate.

3. Apparatus according to claim 2, wherein the second chamber comprises a vacuum vessel.

4. Apparatus according to claim 3, wherein the said reaction chamber (2) comprises a base part (9, 10) mounted stationary in respect to the interior of said vacuum vessel (1) and a movable part (18) adapted to be sealably closable against said base part of said reaction chamber.

5. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said movable part (18) is made transferable either in a direction essentially parallel to the substrate plane, or alternatively, perpendicular to said plane.

6. Apparatus according to claim 5, wherein said movable part (18) is made transferable in both a direction parallel to the substrate plane and in a direction perpendicular to the plane.

7. Apparatus according to claim 5 or 6, wherein said base part (9, 10) has a rabbet encircling its edge, while said movable part (18) is provided with an outer edge that is shaped conforming to said rabbet shape in order to seal said moving part against said stationary base part.

8. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said movable part (18) of said reaction chamber acts as a substrate support platform on which a substrate can be positioned.

9. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said base part of said reaction chamber acts as a substrate support platform on which a substrate can be positioned.



10. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said reaction chamber (2) is adapted to the interior of a vacuum vessel so that said reaction chamber base part is supported to the walls of said vessel or, alternatively, so that said base part forms a portion of the wall of said vessel.

11. Apparatus according to claim 10, wherein said reaction chamber (2) is supported to the walls of said vessel so that the center axis of the support means is coincident with the center point of the substrate in order to prevent mechanical deformations of thermal origin from affecting the positioning of the substrate when the reactor chamber is being closed.

12. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein at least either one of said base part and said movable part of said reaction chamber is provided with a heater element (19).

13. Apparatus according to claim 10, wherein both said base part and said movable part of said reaction chamber are provided with a heater element.

14. Apparatus according to claim 12 or 13, wherein said base part (9,10) and said movable part (18) of said reaction chamber are thermally insulated from said vacuum vessel by passive insulation, reflective shields and/or active heat insulation elements.

15. Apparatus according any of the preceding claims, wherein said movable part (18) is provided with substrate lift means (20), whose upright movement facilitates the elevation of said substrate off from said substrate support platform and the subsequent placement of said substrate onto a transfer means.

16. Apparatus according to claim 15, wherein said transfer means is a robotic arm.

17. Apparatus according to claim 16, wherein said substrate lift means comprises pins (20) adapted on said substrate support platform so as to be movable at right angles in respect to said support platform for elevating said substrate off from said platform surface.
18. Apparatus according to claim 17, wherein said pins (20) are spring-loaded (21) and adapted to move in holes made to the said substrate support platform.
19. Apparatus according to claim 17 or 18, wherein the top ends of said pins (20) are shaped downward tapering to seat against said substrate support platform and the seat holes of said substrate support surface are made similarly downward tapering to the depth of said pin ends, thus allowing the pins to be scalably lowered into said seat holes of said support platform.
20. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said movable part is sealed against said base part by means of metal and/or elastomer seals.
21. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said movable part is sealed against said base part by means of a vacuum pump-out groove that may optionally be flushed with a protective gas.
22. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said movable part is sealed against said base part by means of planar mating surfaces.
23. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein said reactor has a cold-wall structure.

24. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein the reactant infeed channels and the discharge channels of gaseous reaction products and excess reactants are passed via the same wall, advantageously via the bottom, of the pressure-tight vessel.

25. Apparatus according to any of claims 1 - 24, wherein the reactant infeed channels and the discharge channels of gaseous reaction products and excess reactants are passed into the pressure-tight vessel via the top and bottom wall of the same (relative to location of the reaction space housed therein).

26. Apparatus according to any of the preceding claims, wherein by a support structure adaptable to the interior of said reaction chamber, said support structure serving to hold at least two substrates for the deposition of thin films on said substrates in a simultaneous fashion.

27. Apparatus according to claim 26, wherein said support structure comprises a rack having platform shelves or brackets provided thereon for supporting said substrates, or alternatively, a cassette unit consisting of stackable modular elements.

28. Apparatus according to claim 27 wherein said modular element are mutually identical.

29. Apparatus according to claim 27 or 28, wherein at least some of said elements are designed to accommodate a substrate.

30. Apparatus according to claim 29, wherein said substrate-accommodating elements exhibit support brackets or platforms for the substrates.

### 3. Detailed Description of Invention

The present invention relates to an apparatus according to the preamble of claim 1 for fabrication of thin films.

In an apparatus disclosed herein, a substrate placed in a reaction space is subjected to alternate surface reactions of at least two different reactants suitable for fabricating a thin film. The vapor-phase reactants are fed in a repetitive and alternating manner each at a time from its own supply into a reaction space, wherein they are brought to react with the surface of a substrate in order to produce a solid-state thin film product on the substrate. Reaction products not adhering to the substrate and possible excess reactants are removed in gas phase from the reaction space.

Conventionally, thin films are grown out using vacuum evaporation deposition, Molecular Beam Epitaxy (MBE) and other similar vacuum deposition techniques, different variants of Chemical Vapor Deposition (CVD) (including low-pressure and metallo-organic CVD and plasma-enhanced CVD) or, alternatively, the above-mentioned deposition process based on alternate surface reactions, known in the art as the Atomic Layer Epitaxy, shortly ALE, or Atomic Layer Chemical vapor Deposition, abbreviated. In this description, the term "ALE" will be used, although "ALCVD" is more conventionally used in recent articles and patents. In the MBE and CVD processes, besides other variables, the thin film growth rate is also affected by the concentrations of the starting material inflows. To achieve a uniform surface smoothness of the thin films manufactured using these methods, the concentrations and reactivities of the starting materials must be kept equal on one side of the substrate. If the different starting materials are allowed to mix with each other prior to reaching the substrate surface as is the case in the CVD method, the possibility of mutual reactions between the reagents is always imminent. Herein arises a risk of microparticle formation already in the infeed lines of the gaseous reactants. Such microparticles generally have a deteriorating effect on the quality of the deposited thin film. However, the occurrence of premature reactions in MBE and CVD reactors

can be avoided, e.g., by heating the reactants not earlier than only at the substrates. In addition to heating, the desired reaction can be initiated with the help of, e.g., plasma or other similar activating means.

In MBE and CVD processes, the growth rate of thin films is primarily adjusted by controlling the inflow rates of starting materials impinging on the substrate. By contrast, the thin film growth rate in the ALE process is controlled by the substrate surface properties, rather than by the concentrations or other qualities of the starting material inflows. In the ALE process, the only prerequisite is that the starting material is provided in a sufficient concentration for film growth on the substrate.

The ALE method is described, e.g., in FI Patents Nos. 52,359 and 57,975 as well as in US Patents Nos. 4,058,430 and 4,389,973. Also in FI Patents Nos. 97,730, 97,731 and 100,409 are disclosed some apparatus constructions suited for implementing the method. Equipment for thin film deposition are further described in publications Material Science Report 4(7), 1989, p. 261, and Tyhjiötekniikka (title in English: Vacuum Techniques), ISBN 951-794-422-5, pp. 253-261.

In the ALE deposition method, atoms or molecules sweep over the substrates thus continuously impinging on their surface so that a fully saturated molecular layer is formed thereon. According to the conventional techniques known from FI Patent Specification No. 57,975, the saturation step is followed by a protective gas pulse forming a diffusion barrier that sweeps away the excess starting material and the gaseous reaction products from the substrate. The successive pulses of different starting materials and the protective gas pulses forming diffusion barriers that separate the successive starting materials pulses from each other accomplish the growth of the thin film at a rate controlled by the surface chemistry properties of the different materials. To the function of the process it is irrelevant whether they are the gases or the substrates that are kept in motion, but rather, it is imperative that the different starting materials of the successive reaction steps are separated from each other and arranged to impinge on the substrate alternately.

Most vacuum evaporators operate on the so-called "single-shot" principle. Hereby, a vaporized atom or molecule can impinge on the substrate only once. If no reaction with the substrate surface occurs, the atom or molecule is rebound or re-vaporized so as to hit the apparatus walls or the vacuum pump undergoing condensation therein. In hot-wall reactors, an atom or molecule impinging on the reactor wall or the substrate may become re-vaporized and thus undergoing repeated impingements on the substrate surface. When applied to ALE reactors, this "multi-shot" principle can offer a number of benefits including improved efficiency of material consumption.

In practice, the "multi-shot" type ALE reactors are provided with a reactor chamber structure comprised of a plurality of adjacently or superimposedly stacked modular elements of which at least some are identical to each other and by milling, for instance, have reaction chambers made thereto with suitable cutouts and openings serving as the inlet and outlet channels. Alternatively, the substrates can be placed in an exposed manner in the interior of the vacuum vessel acting as the reaction space. In both arrangements, the reactor must be pressurized in conjunction with the substrate load/unload step.

In the fabrication of thin-film structures, it is conventional that the reactors are preferably run under constant process conditions stabilized in respect to the process temperature, operating pressure as well as for other process parameters. The goal herein is to prevent the attack of foreign particles and chemical impurities from the environment on the substrates and to avoid thermal cycling of the reactors that is a time-consuming step and may deteriorate the process reliability. In practice, these problems are overcome by using a separate substrate load/transfer chamber. The substrate loading chamber communicates with the reactors and is kept under a constant vacuum. The load and unload steps of the substrates are performed so that both the reactor and the loading chamber are taken to a vacuum, after which the valve (such as a gate valve) separating the two from each other is opened, whereby a robotic arm constructed into the loading chamber removes a processed substrate from the reaction chamber and loads a new substrate. Subsequently, the valve is closed and



the process may start after the substrate and the reactor have attained their nominal process values. On the other side, the processed substrate is transferred via another controllable valve from the loading chamber to a vacuumized load lock, after which the load lock valve is closed. Next, the load lock may be pressurized, after which the substrate can be removed from the equipment via a third valve opening into the room space. Respectively, the next substrate to be processed can be transferred via the loading chamber into the reactor.

In conventional constructions, the substrate is placed on a heater so that the robotic arm can move the substrate to a desired point in the interior of the reactor, after which the substrate is elevated typically with the help of three pins directly upward for the duration of the robotic arm withdrawal. Next, the substrate is lowered onto a heatable susceptor platform by lowering said pins below the surface level of said susceptor, whereby the substrate remains resting in a good thermal contact with the susceptor.

In the above-described types of reactors, the gas flow enters the reaction space via a "shower head" located above the substrate so as to distribute the gas over the hot substrate, whereby the desired surface reaction can take place and form a desired type of thin-film layer on the substrate surface. If used in an ALCVD reactor, however, this type of infeed technique would require that, at the beginning and end of each reactant infeed pulse, a period of a duration generally equally to that of the reactant pulse length would become indispensable in order to allow for the homogenization of the gas concentration and flush-out of the previous gas pulse. In practice, this would lead to the mixing of the reactant vapors with each other, whereby the ALCVD mode of film growth would actually turn into a CVD process. By the same token, the process is hampered by a slow throughput, poor material utilization efficiency and/or large thickness variations.

Furthermore, the walls of the vacuum vessel would respectively become covered with condensed layers of starting materials, and the consequences particularly in con-

junction with the use of solid-state sources would be the same as those discussed above.

The reason for running the ALE process in a batch mode is because the ALE method is relatively slow as compared with many other types of thin-film growth techniques. Batch processing, however is capable of bringing the total growth time per substrate to a competitive level. For the same goal, also the substrate sizes have been made larger.

The ALE method also can be utilized for depositing composite layer structures, whereby a single run can be employed for making a plurality of different film structures in a single batch. Thus, also the processing time per fabricated unit can be reduced.

The large stack assemblies required in batch processes are typically put together in some auxiliary space, after which they must be transferred as compact units into the interior of the opened reactor. Typically, the bake-out heating of the reactor chamber structures takes a few hours (1 – 4 h) followed by the processing step (taking about 2 – 4 h to a thickness of 300 nm  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), and the cooling lasts up to tens of hours depending on the size of the reactor construction. Furthermore, a certain time must be counted for the dismantling and reassembly of the reactor chamber.

The proportion of the processing time to the work time required by the other processing steps becomes the more disadvantageous the thinner are the thin films (e.g., in the range 1 – 50 nm) to be grown, whereby the duration of the actual deposition step may last from one to several minutes only. Then, an overwhelming portion of the total processing time in respect to actual processing time is used for heating/cooling the reactor chamber structure, pressurization of the reactor, dismantling/reassembly of the reactor chamber, bringing the system to vacuum and reheating the same.

It is an object of the present invention to overcome the drawbacks of the prior-art technology and to provide an entirely novel apparatus for growing thin films of homogeneous quality using the ALE method in a commercial scale. It is a particular object of the invention to provide an apparatus construction suitable for fabricating very thin films under such circumstances in which the reactor and the structure forming the reactor chamber are all the time kept under stabilized process conditions, whereby the heating, pressurizing and vacuum pumping cycles are performed in respect to the substrates alone. It is a further object to provide a reactor design that allows single wafer processing, using the advantages of the previous ALE reactors, viz. minimal reaction volume, aerodynamic design for smooth passing of pulses without dead volumes.

The goal of the invention is achieved by virtue of a novel concept in which the benefits of a reactor chamber structure and those of a cold-wall ALE reactor are combined with those of reactor equipped with an internal loading chamber through designing reaction chamber construction such that can be opened and closed in the interior of the reactor for the substrate load/unload steps. The reactor volume is so small that there is not enough space for wafer handling. Therefore, the reaction chamber needs to be opened, not by a valve but by taking parts of the reactor apart, for wafer transfer. To prevent exposure of the reaction chamber to the ambient, a second chamber is built around the reaction chamber.

Accordingly, the reaction chamber construction according to the invention comprises at least one part movable with respect to the remaining part of the reaction chamber and adapted to be sealably closable against said remaining part of the reaction chamber such that a substrate can be loaded / unloaded into and out of the reaction chamber. According to one embodiment, which will be described in more detail below, the reactor chamber comprises at least two basic parts, namely a stationary base part of the reactor structure and a movable part of said structure, the latter being adapted to be sealably closable against said base part, whereby the reaction space remaining between said base part and said movable part attains the characteristic

shape required from such a volume. One combination element formed by the base part and the movable part of the reaction chamber structure acts as a substrate support platform, or base, on which a substrate can be positioned by means of a robotic arm or by the movements of a given part of said arm. However, the basic idea is to have reactor chamber parts which are movable with respect to each other, e.g. one horizontally, the other vertically, or both vertically.

More specifically, the apparatus according to the invention is principally characterized by what is stated in the characterizing part of claim 1.

The invention offers significant benefits. Accordingly, the construction according to the invention counteracts to the contamination of the intermediary spaces of the reactor, whereby also the cleanliness of the loading chamber is improved, the contamination risk of substrates reduced and the base pressure can be pumped down at a faster rate. The commercial processing of single substrates facilitated by the apparatus according to the invention offers the further benefit that each substrate can be processed in a tailored manner if so desired. Moreover, the ALE process need not anymore be run in a batch mode if the other production units are operated in a continuous mode.

The apparatus according to the invention is also applicable to the fabrication of different types of thin films including those of the semiconductor variety, as well as thin-film structures of display units by means of the ALE method.

In the following, the invention will be elucidated with the help of a detailed description. A preferred embodiment of the invention is illustrated in the appended drawings.

In the context of the present invention, the term "reactant" refers to a vaporizable material capable of reacting with the substrate surface. The reactants may be solids, liquids or gases. In the ALE method, reactants belonging to two different groups are conventionally employed. The term "metallic reactants" is used of metallic compounds or even elemental metals. *Suitable metallic reactants are the halogenides of* metals including chlorides and bromides, for instance, and metalorganic compounds such as the thd complex compounds. As examples of metallic reactants Zn,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{thd})_2$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$  and  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  may be mentioned. The term "nonmetallic reactants" refers to compounds and elements capable of reacting with metallic compounds. The latter group is typically represented by water, sulfur, hydrogen sulfide and ammonia.

In the present context, the term "protective gas" gas is used to refer to a gas which is admitted into the reaction space and is capable of preventing undesired reactions related to the reactants and, correspondingly, the substrate. Such reactions include e.g. the reactions of the reactants and the substrate with possible impurities. The protective gas also serves to prevent reactions between substances of different reactant groups in, e.g., the inflow lines. In the method according to the invention, the protective gas is also advantageously used as the carrier gas of the vapor-phase pulses of the reactants. According to a preferred embodiment, in which reactants of different reactant groups are admitted via separate inlet manifolds into the reaction space, the vapor-phase reactant pulse is admitted from one inflow channel while the protective gas is admitted from another inflow channel thus preventing the admitted reactant from entering an inflow channel serving another reactant group. *Of protective gases suited for use in the method, reference is made to inert gases such as* nitrogen gas and noble gases, e.g., argon. The protective gas may also be an inherently reactive gas such as hydrogen gas serving to prevent undesirable reactions (e.g., oxidization reactions) from occurring on the substrate surface.

According to the invention, the term "reaction space" includes both that part of the reaction chamber in which the substrate is located and in which the vapor-phase reactants are allowed to react with the substrate in order to grow thin films as well as the gas inflow/outflow channels communicating immediately with the reaction chamber, said channels serving for admitting the reactants into the reaction chamber (via inflow channels) or removing the gaseous reaction products of the thin-film growth process and excess reactants from the reaction chamber (via outflow channels). According to the construction of the embodiment, the number of the inflow and outflow channels, respectively, can be varied from one upward. They may also be located at opposite ends of the substrates whereby the outflow orifice corresponding to each reactant group is located at the end of the inflow manifold of the other group, advantageously separated therefrom by means of a gas separating plate. The gases may also be fed onto the substrate alternately from opposite directions. In this manner it is possible to compensate any observed stronger film growth at the inflow end of the substrate. Also the exhaust suction from the outflow channel in such an arrangement must take place in an alternated manner.

The gas feed inlet openings can be arranged along a curved line, e.g. along a line having a radius of curvature somewhat greater than the radius of the circular substrate to be treated. By means of this arrangement it is possible to obtain an even gas front along the substrate.

Herein, the term "substrate surface" is used to denote that top surface of the substrate onto which the vapor-phase reactant flowing into the reaction chamber primarily impinges. In practice, said surface, during the first cycle of the thin-film growing process is constituted by the surface of the substrate such as glass or silicon wafer, for instance; during the second cycle the surface is constituted by the layer formed during the first cycle and comprising the solid-state reaction product which is deposited by the reaction between the reactants and is adhered to the substrate, etc.



According to the invention, the reactor chamber is fitted within an air- and gas-tight containment, such as a vacuum vessel. Such a reaction chamber comprises e.g. at least two parts, at least one of which is movable with respect to the remaining part of the reaction chamber and adapted to be sealably closable against said remaining part of the reaction chamber such that a substrate can be loaded and unloaded into and out of the reaction chamber. The parts can be moved with respect to each other (one or both); one horizontally (perpendicular to the lateral plane of the substrate), the other vertically (laterally); or both vertically (laterally). The parts of the reaction chamber are contained in a second chamber, which preferably comprises a vacuum vessel, both during processing and during loading and unloading of a substrate. Thus, there is arranged a double-containment of the substrate.

According to a preferred embodiment, the reaction chamber comprises two parts, one of which being mounted stationary in respect to said vacuum vessel, while the other is designed movable. The transfer of the movable part can take place laterally, that is, parallel to the substrate plane, or alternatively, in a direction perpendicular to the plane of the stationary base part (and thus, to the plane of the substrate). The transfer motion may also occur in both a lateral and a perpendicular direction. The substrate can be adapted mountable on the movable part or on the stationary base part or, in some cases, even on both parts.

In an embodiment in which the movable part is designed such that can be transferred at right angles toward the stationary base part, the stationary part is equipped with a rabbet encircling its edge, while the movable part is provided with an outer edge that is shaped conforming to the rabbet shape in order to provide a seal against the stationary base part.

The construction according to the invention can be implemented in the form of some particularly advantageous embodiments. Accordingly, in the first preferred embodiment of the invention, the reactor chamber is located in the manner disclosed in FI Patent No. 97,730 in the interior of a cold-wall vacuum reactor. In the present

context, the term "cold-wall" reactor is used for making reference to an apparatus in which the reaction space and a possible reagent source adapted inside the vacuum vessel are heated each separately. The heating system can be implemented by enclosing each unit of the apparatus within a cover having one side facing the reactor (or source) equipped with a first temperature-equalizing jacket or plate and the other side facing the vacuum vessel wall possibly with another temperature-equalizing jacket or plate. Accordingly, there is adapted between said first and said second jacket a heating means suitable for heating the surfaces of said temperature-equalizing jackets. Such a heating means may comprise tubular resistive elements or planar heaters. The envelopes of the covers enclosing the reaction space and the material sources are most advantageously made from a metal such as stainless steel, titanium or aluminum, or a suitable metal alloy or even a pure metal. By virtue of such an insulation adapted between the reaction space and the reactant sources so as to keep them thermally insulated from each other and from the vacuum vessel, the internal temperature of the vacuum vessel can be controlled independently from the temperatures of the sources and the reaction space. Resultingly, the vacuum vessel temperature can be maintained essentially lower than that of the reaction space. As will be evident from the following description of an exemplifying embodiment, a cold-wall reactor may also be constructed without any need to adapt the reagent sources to the interior of the vacuum vessel.

Depending on the type of reaction to be run, the cold-wall vacuum vessel may be replaced by some other type of gastight vessel. This is particularly true for a situation in which the reaction temperature is below about 200 °C. In the context of the present invention, the structure discussed herein is called generally with the name "pressure-tight vessel" or "vacuum vessel", said term also including so-called "vacuum vessels". While the growth of a thin film can be carried out under an atmospheric pressure or even a slight overpressure, operation under a partial vacuum will provide certain benefits in respect to the purity of reactant and purge gases, among other things.

Most advantageously, the base part of the reactor chamber is supported to the walls of the vacuum vessel so that the center axis of the support means is coincident with the center point of the substrate. This arrangement prevents mechanical deformations of thermal origin from affecting the extremely critical positioning of the substrate when the reactor chamber is being closed. In order to minimize the effect thermally induced movements, it is also advantageous to pass the reactant infeed channels and the reaction product discharge channels via (a single and) the same wall of the pressure-tight vessel. When the movable part comprises a vertically movable plate transferred supported by a transport rod, said rod is advantageously extended to the exterior of the vacuum vessel through the same wall as is penetrated by the gas channels. The transport rod can be made movable by manual or actuator-driven means.

The effect of thermal expansion forces on the positioning arrangement can be eliminated with the help of flexible lines, for instance.

Furthermore, the base part may be made to comprise a portion of the vacuum vessel wall.

According to another preferred embodiment of the invention, the stationary base part of the reactor and/or its movable part is provided with heating means, whereby their insulation can be accomplished as needed by means of, e.g., reflective shields or active thermal insulation elements. In respect to the details of such heating means, reflective shields and active thermal insulation elements, reference is made to cited FI Patent No. 97,730. However, it is herein appropriate to mention that means generally called "active thermal insulation elements" typically include a cooling means and a reflective shield. Thus, it is possible to establish between two hot spots a *zone cooled to a temperature even lower than the cooler one of said hot spots*. Typically, there are adapted thermal radiation reflecting envelopes about the heating means, whereby the number of the envelopes is at least one, but also a greater number of envelopes may be used in concentrically enclosing fashion. The sources

are further surrounded by a cooling means, thus accomplishing the above-described cooled zone. This is necessary in the case that the sources are adapted to the interior of the vacuum vessel. The cooling system may be based on a water circulation, for instance. A similar cooling system may be constructed on the wall of the vacuum vessel, too.

The sealing of the movable part (that is, the sealing of the reaction chamber structure) can be accomplished by means of, e.g., an elastomer seal if possible within the constraints of the process and the temperatures involved. Otherwise, the sealing must be made using, e.g., a vacuum pump-out groove seal construction. The sealing effect of the vacuum pump-out groove may be augmented by feeding a protective gas into the groove. This type of vacuum pump-out groove seal can be implemented by, e.g., machining on the surface of the planar structural elements of the chamber, close to the plate edges, a groove shaped as a loop passing close to the edge contour of the plate, thus being capable of sucking away any leaks. The vacuum pump-out groove is connected to a discharge channel which is kept under a vacuum. The vacuum pump-out groove serves to prevent the access of contamination from the exterior of the reactor into the reaction space or, conversely, the entering reactants from escaping to the exterior side of the reaction space. The sealing flow passing in the vacuum pump-out groove provides a maximally effective function if the heaviest constriction to the flow of gases is arranged in the vicinity of the trailing end of the substrate, close to the vacuum suction channel.

Advantageously, the edges of the oppositely mating parts of the reaction chamber are provided with notches cut at right angles to the plane of the plate so as to extend through the plate, thus forming the gas channels of the reaction space when the reaction chamber structure is fully closed.

The reaction chamber can be shaped to accommodate a plurality of substrates. Accordingly, the reaction chamber may be provided with support structures on which at least two substrates can be placed for depositing thin-film structures on both

substrates simultaneously. Generally, such support structures may comprise a rack having platform shelves or brackets provided thereon for supporting the substrates, or alternatively, a cassette unit consisting of stackable, preferably mutually identical, modular elements, whereby the interior spaces of at least a part of the stackable elements are shaped so that they will be able to accommodate the substrates. Preferably these elements are provided support brackets or platforms for the substrates. The support structures may be placed on the stationary base part of the reactor or, alternatively, on a movable base plate.

The racks may have either an open or a closed structure. In an open rack, the sides are left open so as to give a free access for the reactant gases from the infeed channel to the substrates and, conversely, from the substrates to the discharge channel. In a closed rack, the sides are partially closed, whereby the flow of the reactant gases takes place via infeed openings provided at one side of the rack, close to the substrates, while the other side is respectively equipped with a discharge opening. Such a rack construction is provided with substrate holders comprised of shelf platforms or brackets serving to support the substrates. The latter arrangement also facilitates two-sided deposition on the substrates. If the substrate support is provided by shelf platforms, they can be equipped with heating means serving to stabilize the reaction temperature.

Instead of having a shelf construction, the reaction chamber may be composed of essentially similar (even identical) modular elements stacked on a base plate, whereby the proper design of the stack elements have indents and grooves made thereto such that narrow passageways are formed acting as flow constrictors to the gas flowing through the reaction space. The elements have recesses made thereto with surfaces acting as substrate supports. The components of such a stackable cassette pack structure are fabricated from a material that is resistant to the reactants used in the ALE growth process. In this respect, advantageous materials are glass and the like silicate-based compositions, as well as various ceramics. The same groups of materials, as well as various metal alloys, are also suitable for making the racks.

When required, the internal surfaces of the process equipment may be passivated by depositing thereon, e.g., an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  layer that can be formed using AL-CVD from suitable starting materials such as aluminum chloride and water.

For multiple substrate processing applications, the inlet and outlet lines (or feeding/pumping lines) of the reactant gases are advantageously connected in a permanent manner to the reaction chamber. Further, the substrate rack or cassette structure is advantageously arranged in the reaction chamber so that the end of the gas discharge channel meets the gas discharge opening of the rack or cassette structure as tightly as possible. The substrates may also be arranged in an essentially upright position in the reaction space.

According to a third preferred embodiment of the invention, the movable part is equipped with a substrate lift means, whose upright movement facilitates easy placement of the substrate onto the robotic arm. Such substrate lift means can comprise, e.g., pins inserted in holes made on the substrate support surface so as to force the pins to move at right angles in respect to the support surface. The pins may be spring-loaded, whereby they automatically can lift the substrate upward off from the substrate support surface when the stacked pack is opened. The top ends of the pins are shaped downward tapering. Also the holes of the support surface are shaped similarly downward tapering, thus causing the downward conical pin head to seal automatically against the hole seat when the substrate is placed in the reaction space. This arrangement serves to achieve a maximum tightness in order to prevent the reactants from leaking freely into the reaction chamber. Otherwise, the reactants contained in the reaction chamber could re-enter the reaction space at an incorrect time thereby interfering with action of the subsequent reactant pulses. Moreover, the reactants are often of a corrosive nature and their access to the loading chamber side would be detrimental to the process.



To overcome the sealing problems, one starting material group can be introduced into the reaction space via its top side and the other via its bottom side.

It must be noted herein that obviously the movement of the movable part may also be arranged so as to occur in the principal plane, that is, in the lateral direction. Herein, the movable part (such as a cover) is transferred by means of a pushing movement of the robotic arm.

Advantageously, also the gas inlet and outlet lines are sealed in respect to the intermediary space. Typically, the load/transfer chamber is taken to a vacuum from about  $10^{-6}$  bar to 10 mbar and, respectively, the ALE growth process is carried out at a pressure from about 0.1 mbar to 30 mbar. Thence, the ALE apparatus must be pumped to the lower one of cited pressures for the load/unload steps. To speed up this phase, the reactor is advantageously equipped with a separate pump specifically designed for this purpose. Such a pump can be of the turbomolecular pump or cryopump variety, for instance.

As the film may also grow inadvertently on other surfaces than those of the substrate, stabilization of the reactor chamber temperature contributes to reduced formation of contaminating particles released from the flaking of films grown on the reactor surfaces. In the practice of the art, the principal cause of flaking has been traced to the differences in the thermal expansion coefficients of the accumulated film and the material of the reactor chamber walls.

The specific properties and benefits of the invention will be appreciated from the following detailed description in which reference is made to the appended drawings.

In Fig. 1 is shown a top view of an apparatus according to the invention, wherein the vacuum vessel is denoted by reference numeral 1. The reactant inlet lines are denoted by reference numeral 6. In the interior of the vacuum vessel, there is adapted a reaction chamber 2, whose stationary base part (cf. later description) is mounted in the vacuum vessel on three supports. The circular contour of a substrate is outlined in

the diagram in a dashed line. The other dashed lines in the diagram outline the center axes of the support system passing via the center point of the substrate. As described earlier in the text, this kind of arrangement is capable of preventing the effect of thermal expansion movements on the substrate position during the closing of the cassette pack, whereby the movable part of the pack at all times will mate accurately with the stationary part thus ensuring the tightness of the reaction space.

In Figs. 2 and 3 is shown a more detailed structure of the apparatus. As illustrated herein, the reaction chamber 2 adapted into the vacuum vessel 1 comprises a reaction space formed in a pack of superimposedly stacked planar elements 3. The set of planar elements 3 include a top plate 9, a base plate 10 and a heating plate 24 (cf. Fig. 3). Thin films can be grown in the reaction chamber onto a substrate using an ALE process. Reference numeral 4 denotes the connection of the reaction chamber to a line leading to the suction inlet of a vacuum pump, said line being sealed against leaks from the exterior of the reaction chamber by means of a seal 5. Respectively, reference numeral 6 denotes an inlet line of vapor-phase reactants, said line being connected to the reactant inlet distribution plate 7.

In Fig. 3 is shown the technique of forming a looped vacuum pump-out groove 8 for sucking away any possible leaks. The vacuum pump-out groove is connected to a line 4 leading to the suction inlet of a vacuum pump. The function of the vacuum pump-out grooves is to prevent the access of contamination from the exterior of the reactor into the reaction space and, conversely, the reactants from escaping to the exterior side of the reaction space. Hence, it acts a kind of gastight seal for the reactor.

As noted above, the sealing of the planar elements against each other can be implemented using elastomer seals. However, it is also possible to attain a sufficient degree of tightness using straight planar surfaces that act as the sealing seats between the planar elements.

The upper half of the reactor space forms the reactor chamber top plate 9 and, respectively, the lower half is comprised of the base plate 10. The base plate is mounted on supports 11. Between the top and the base plate, there is adapted a divider plate 12 serving to isolate the reactant flows from each other. To the bottom side of the base plate is attached a reactant inflow distribution plate 7 in which the gas flows are divided into a linear front laterally over the reaction space. The reactant infeed and discharge lines 6, 4 and the reaction chamber 2 have a narrow cross section along their longitudinal axis and are elongated in order to achieve a "flattened" gas flow pattern and to minimize the size of the reaction space.

In the embodiment illustrated in Fig. 3, the vapor-phase reactant pulses of different reactant material groups are fed alternately into the infeed line 6. Prior to the infeed, the reactant concentrations are homogenized most appropriately by means of a protective gas flow in the infeed line 6 or even earlier. In the infeed line, each vapor-phase reactant pulse having a planar, flattened flow pattern propagates with a linear, blunt front. The width of the flow pattern is equal to that of the substrate platform, which may be in the range of 5 – 50 cm, for instance.

The flow propagating in the infeed manifold is distributed into a homogeneous front by dimensioning the reaction space with its constrictions so that the conductance of the infeed channel 13 is much larger than the conductance through the capillary channels 14. In the interior of the reaction chamber 2, the flow is homogenized by virtue of a narrow suction slit 15 that acts as a gas flow constriction. In practical tests (performed with lean dosages), the gas flow front has been found to be very straight. Uniform suction over the lateral direction of the gas flow front is of primary importance, because gas molecules tend to travel in the direction of the lowest pressure (caused by the highest suction power), whereby the linear contour of the gas flow front will become distorted if it is subjected to an uneven suction. On the other hand, laterally uniform suction can even straighten a gas flow front which is warped due to some reason.

In the embodiment of Fig. 3, the gas flow is passed via constrictions that are located both at a point 16 before the substrates as well as at a point 15 after the substrates. This arrangement can assure an extremely homogeneous flow over the substrates.

The center axis of the reaction chamber support means is adapted to coincide with the center axis of the substrate 17. The support legs 11 are provided with adjustment screws 29 by means of which the position of the reactor chamber can be set and locked in respect to the vacuum vessel. This construction aims to keep the center of the substrate stationary and to direct the thermal expansion deformations radially outward from said center. It is essential that the substrate position is kept stationary in order to permit the use of robotic handling means, whereby the robotic arm can place the substrate accurately into its support niche.

In Fig. 3 is shown an apparatus embodiment in which the reaction chamber 2 can sealably admit a movable base plate 18 with its integral heating plate 19. In this embodiment, the movable base of the reaction chamber acts as the substrate holder. The movable part has a beveled edge contour that seals its edge against the reaction chamber edge. The beveled edge is provided with a groove or a number of grooves that can be used as nitrogen purging grooves, seal grooves or vacuum pump-out grooves. The edge of the base plate 18 may also have conical pins 30 that guide the positioning of the substrate on the base plate 18.

The elements of the substrate lift means 20 are sealed against the movable base plate by their conical shape, thus permitting the reaction space to be isolated from the exterior of the reaction chamber. During a process run, the conical pins are withdrawn flush with the seat surface by means of springs 21. The conical pins 30 are fastened to a support plate 22 that can be transferred mechanically or by an actuator means via a transport rod 23.

In order to provide homogeneous distribution of the inlet reactant gas pulses, it is possible to adapt the base plate 18 for rotation during the reaction. This means that, in practice, also the substrate lift means 20 are made rotatable.

The interior of the heating plate 19 and 24 can be equipped with a variety of different heater elements 25. The heating plates 19 and 24 are pressed against the plates of the reaction chamber thus assuring efficient heat transfer. The heating of the reaction chamber is augmented by locating reflective shields 26, 27, 28 about the stacked reaction space pack.

#### **4. Brief Description of Drawings**

Fig. 1 shows a top view of an assembly diagram for a simplified construction of a reactor embodiment according to the invention:

Fig. 2 shows a side view of the a simplified construction of the reactor embodiment; and

Fig. 3 shows longitudinally sectional side view of the simplified construction of the reactor embodiment.

Fig. 1

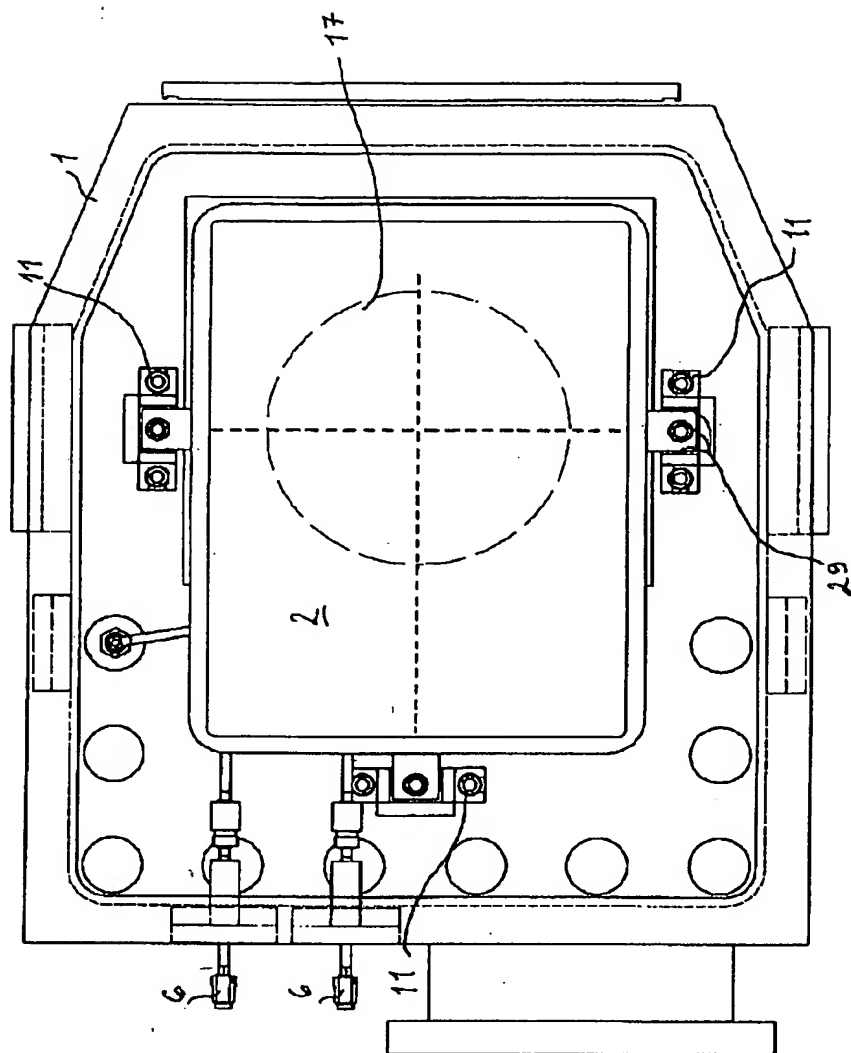
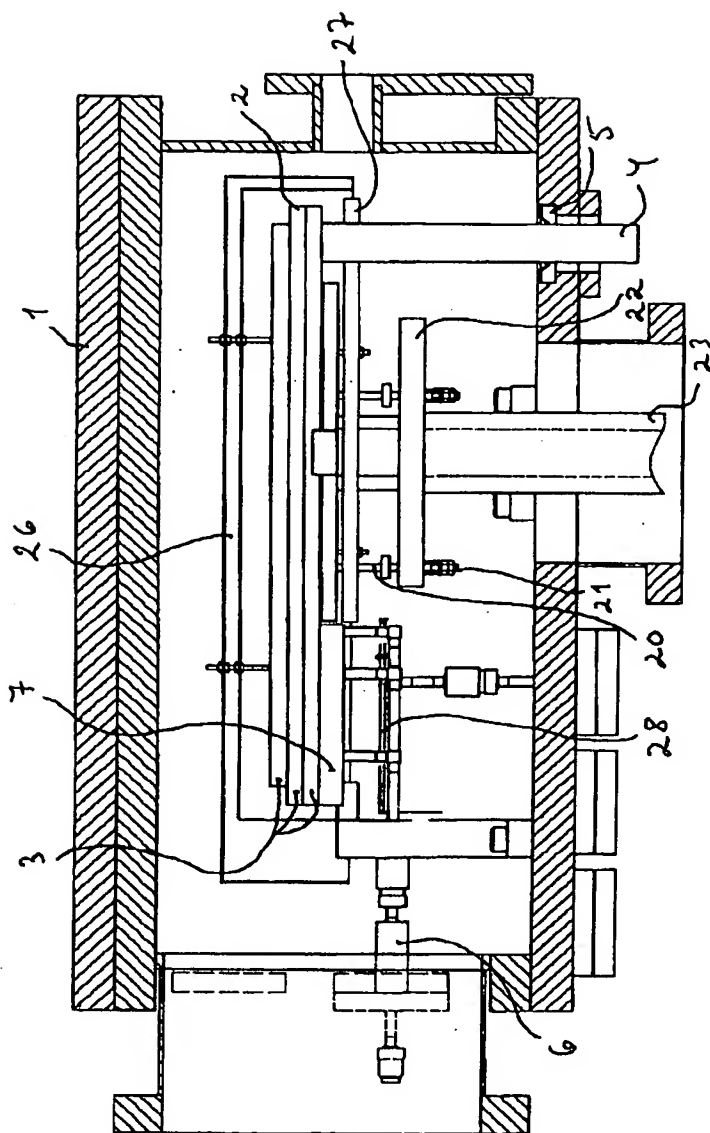


Fig. 2



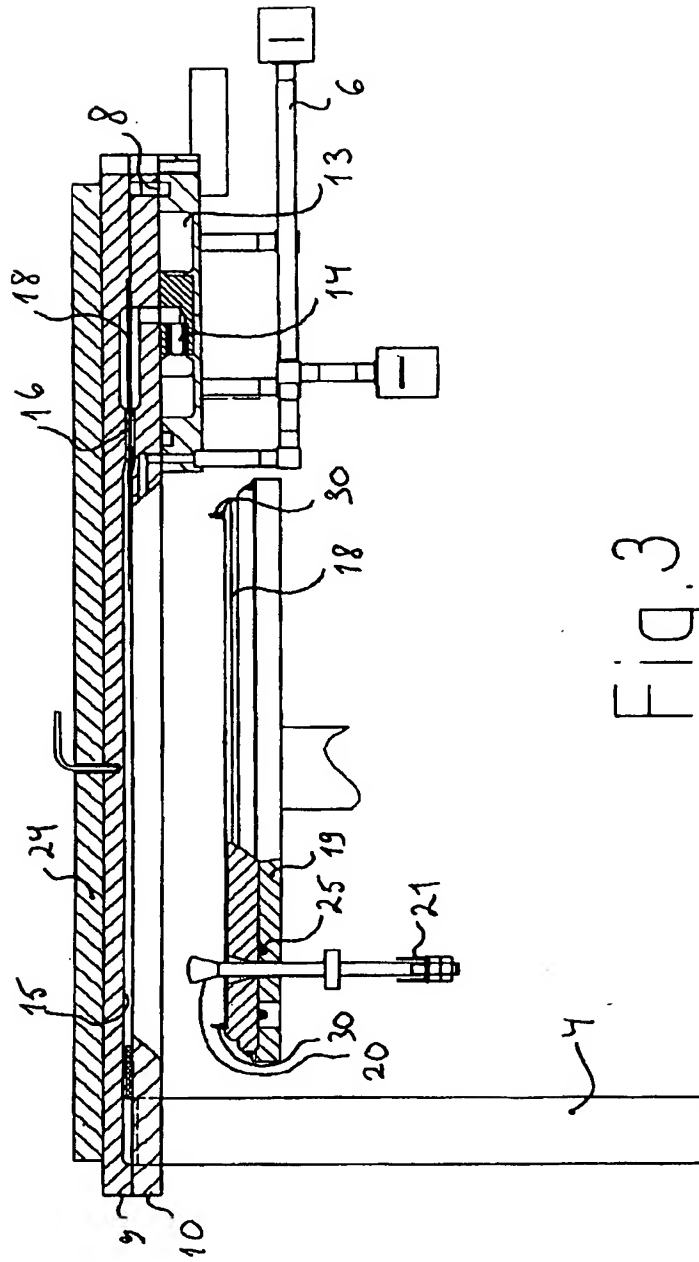


Fig. 3



## 1. Abstract

The invention relates to an apparatus for growing thin films onto a substrate by exposing the substrate to alternate surface reactions of vapor-phase reactants for forming a thin film onto the substrate by means of said surface reactions. The apparatus comprises a vacuum vessel (1), a reaction chamber (2) with a reaction space into which the substrate can be transferred and which has infeed channels (6) for feeding therein the reactants used in said thin film growth process, as well as outlet channels (4) for discharging gaseous reaction products and excess reactants. According to the invention, said reaction chamber comprises a base part (9, 10) mounted stationary in respect to the interior of said vacuum vessel (1) and a movable part (18) adapted to be sealably closable against said base part of said reaction chamber. The invention makes it possible to improve the cleanliness of the substrate load chamber and to reduce the degree of substrate contamination. The apparatus is intended for use in the fabrication of thin films by means of the ALE method for semiconductor layer structures and display units.

## 2. Representative Drawing

(Fig. 3)